Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 2, June. July. 2021, p. 365- 378

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۰ ص.۳۷۸-۳۶۵

مقاله پژوهشی

تهیه سامانه امولسیون ژل سرد با استفاده از پیکرینگ‌های کمپلکس ایزوله پروتئین سویا- صمغ دانه ریحان به‌عنوان جایگزین چربی در خامه

سیما ناجی طبسی[1]- الهام مهدیان[2]- اکرم آریان‌فر[2]- سارا ناجی طبسی[3*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۸

چکیده

مصرف زیاد چربی خطر ابتلا به بیماری‌های مختلفی را افزایش می‌دهد. اما به دلیل نقش چندگانه چربی در فراورده‌های غذایی، حذف یا کاهش آن منجر به ایجاد خصوصیات کیفی نامطلوب می‌گردد. بنابراین، در این تحقیق استفاده از ساختار امولسیون‌ژل سرد پایدارشده با استفاده از پیکرینگ‌های ایزوله پروتئین سویا (ISP) و کمپلکس ایزوله پروتئین سویا –صمغ دانه ریحان (ISP-BSG) به‌عنوان جایگزین چربی مورد مطالعه قرارگرفت. ذرات پیکرینگ ISP-BSG به‌ترتیب با نسبت‌های مختلف جرمی BSG:ISP، ۱:۰، ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳ تهیه و به‌ترتیب 1S:0B، 1S:1B، 2S:1B و 3S:1B نامگذاری شدند. بررسی ویژگی‌های امولسیون‌ژل نشان داد که پوشش‌دهی سطح قطرات امولسیون توسط نانوذرات جامد S:B یک پوسته سفت و سخت را تشکیل می‌دهد. با افزودن کلسیم کلرید به امولسیون، شبکه‌های امولسیون‌ژل از قطرات روغن تجمع یافته تشکیل‌شدند که این ساختار در نمونه‌های 1S:0B و 2S:1B قابل مشاهده‌تر بود. همچنین، نوع و ساختار پیکرینگ به‌کار رفته بر مقدار حفظ روغن در امولسیون‌ژل اثرگذار بود. حضور BSG در نسبت مناسب (2S:1B) با ISP باعث ایجاد امولسیون‌ژل با ثبات تر با استحکام مکانیکی (سختی و قوام) بالاتری شد. با توجه به پایداری و خصوصیات بافتی از بین نمونه‌های امولسیون ژل، دو فرمول 1S:0B و 2S:1B برای تولید خامه با چربی کاهش یافته (۵، ۱۰ و ۱۵٪) استفاده شد. استفاده از درصدهای بیشتر از ۵ درصد جایگزینی با افزایش آب‌اندازی خامه همراه بود (p<۰/۰۵). اما نوع امولسیون‌ژل بر میزان آب‌اندازی تاثیر معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان پذیرش کلی با جایگزینی امولسیون‌ژل 2S:1B با کاهش ۵٪ چربی حاصل شد (p>۰/۰۵).

واژه‌های کلیدی: امولسیون‌ژل، ایزوله پروتئین سویا، ذرات جامد، صمغ دانه ریحان، کمپلکس، جایگزینی چربی.

مقدمه

چربی‌ها در تغذیه انسان از جایگاه خاصی برخوردار هستند و نقش اصلی آن‌ها در بدن تأمین انرژی است. اما یافته‌های علمی، حاکی از ارتباط مصرف زیاد چربی و افزایش خطر ابتلا به برخی بیماری‌ها مثل سخت شدن دیواره رگ‌ها و بیماری‌های قلبی- عروقی هستند. در پی افزایش آگاهی مردم نسبت به ضررهای مصرف چربی، افزایش چشمگیری در تقاضای محصولات غذایی کم‌چرب به وجود آمده است. اما به دلیل چندگانه بودن نقش چربی در فرآورده‌های غذایی، حذف یا کاهش آن منجر به ایجاد خصوصیات کیفی نامطلوب می‌گردد. بنابراین، لازم است از ترکیباتی به‌عنوان جایگزین چربی استفاده شود تا ویژگی‌های رئولوژیکی، بافت و حسی محصول غذایی کم‌چرب حفظ شود (کاواس و همکاران،۲۰۰۴). ساختارهای امولسیون‌ژل از روش‌های تولید محصول کم‌چرب محسوب می‌شوند.

امولسیون ژل (امولژل) به ساختارهایی گفته می‌شود که می‌توانند به هر دو شکل امولسیون و ژل وجود داشته باشند. در ساختار امولسیون‌ژل‌ها، تجمع قطرات پراکنده روغن و یا تشکیل فاز پیوسته امولسیون، باعث تبدیل‌شدن امولسیون به ژل می‌شود. امولسیون‌ژل ها می‌توانند از طریق تجمع قطرات روغن و یا از طریق فاز آبی امولسیون روغن در آب تشکیل ژل دهند (دیکنسون،۲۰۱۲). پایه امولسیون ژل‌ها عمدتاً پروتئینی است زیرا می‌توانند به‌عنوان امولسیفایر، پایدارکننده و عامل ایجاد ژل استفاده شود. علاوه بر استفاده از پروتئین در ساختمان امولسیون‌ژل‌ها، می‌توان هیدروکلوئیدها (صمغ ها) را جهت افزایش پایداری و ایجاد بافت در سیستم مورد استفاده قرار داد (دیکنسون،

۱ و ۲- به‌ترتیب دکترا و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران
۳- استادیار، گروه نانوفناوری مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: s.najitabasi@rifst.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.86293

۲۰۰۹). مطالعات متعددی جهت تهیه امولسیون‌ژل انجام شده است (چن و همکاران،۲۰۰۰؛ گوارتنی و همکاران، ۲۰۰۴؛ گو و همکاران، ۲۰۱۳؛ گریشکومار و همکاران، ۲۰۱۷).

یکی از روش‌های جدید تشکیل امولسیون، امولسیون پیکرینگ[1] است که در این مطالعه پایداری امولسیون‌ها توسط ذرات جامد (پیکرینگ‌ها) ایجاد شد. در این روش به جای استفاده از عوامل فعال‌کننده سطحی از ذرات جامد برای پایداری امولسیون استفاده می‌شود. مهمترین مزیت این روش پایداری بالای امولسیون نسبت به به درهم‌ادغام‌شدن[2] است. این ذرات در آب و روغن محلول نیستند و بین سطح قرار می‌گیرند. در نتیجه ذرات قادر هستند که امولسیون را از طریق مانع فیزیکی در برابر کوالسنس پایدار کند. برخلاف امولسیفایرهای با وزن ملکولی پایین، جذب ذرات به صورت برگشت‌ناپذیر است و پایداری بالاتری نسبت به امولسیون‌های معمولی دارند (لینک و دراش،۲۰۱۸).

افزودن یون کلسیم به امولسیون پایدار شده، روشی مناسب برای بهبود شرایط ایجاد ژل است. در حقیقت ریزساختار و خصوصیات مکانیکی امولسیون ژل می‌تواند با تنظیم غلظت یون کلسیم کنترل شود (لاین و همکاران، ۲۰۰۵ ؛ تانگ و همکاران، ۲۰۱۱ ؛ یه و تیلور، ۲۰۰۹). از این‌رو در این پژوهش از نانوذرات ایزوله سویا و کمپلکس صمغ دانه ریحان- پودر ایزوله سویا برای تهیه امولسیون‌ژل به روش سرد استفاده خواهد شد.

سویا یکی از بیشترین گیاهان زراعی در جهان است که از نظر پروتئین (۵۰-۴۰٪)، چربی (۳۰-۲۰٪) و کربوهیدرات (۲۶-۳۰٪) غنی می‌باشد و در نتیجه مورد بحث تحقیقات علمی زیادی قرارگرفته‌است. دانه سویا مانند اغلب دانه‌های حبوبات دارای چندین پروتئین می‌باشد که اکثر آنها در سلامت‌بخشی و افزایش ارزش تغذیه‌ای غذاها مؤثر می‌باشد. اخیراً، علاقه به ترکیبات سویا و فرآورده‌های تخمیری آن افزایش یافته است که این امر به دلیل خواص ضدسرطانی و فواید سودمندی است که گزارش شده است (مسینا و همکاران ،۱۹۹۴). پروتئین‌های اصلی سویا (بیش از ۸۵٪) شامل گلایسینین و بتاکانگلایسینین می‌باشد (لیو،۱۹۹۷). ایزوله پروتئین سویا (ISP[3]) از مهم‌ترین منابع پروتئین تجاری است که استفاده از آن به دلیل ویژگی‌های عملکردی مطلوب در سیستم‌های غذایی، هضم راحت، هزینه پایین و ارزش تغذیه‌ای زیاد گسترش یافته است (علی‌بهایی و همکاران ،۲۰۰۶). ترکیب اصلی ISP شامل گلایسین[4] و است که در محیط آبی به شکل کروی می‌باشند که سطح آن هیدروفیلیک و هسته‌ی آن هیدروفوبیک است و می‌توانند تشکیل میسل دهند. با افزودن عوامل حل‌کننده و اتصال دهنده عرضی، مولکول‌های ISP جمع شده و تشکیل ساختارهای متنوعی مثل اجسام کروی کوچک، هیدروژل‌ها و مخلوط‌های پلیمری را می‌دهند (لوچاروانکالو همکاران ،۲۰۱۴).

صمغ دانه ریحان (BSG) دارای خصوصیات جذب سطحی است و قابلیت کاهش کشش سطحی آب خالص را دارند (ناجی طبسی و رضوی، ۲۰۱۶؛ اُسانو و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین، کشش بین سطحی در سطح روغن/ آب به‌طور معنی‌داری توسط صمغ دانه ریحان کاهش می‌دهد و اندازه‌گیری کشش سطحی/ بین‌سطحی تأییدکننده جذب صمغ دانه ریحان در تداخلات روغن و آب است. (اُسانو و همکاران، ۲۰۱۰). از سوی دیگر BSG قابلیت کاربرد برای تشکیل نانوذرات را داراست. ناجی و همکاران (۲۰۱۷) از این نانوذرات صمغ BSG جهت رسانش گلوتاتیون مورد استفاده قرار دادند.

به‌طور کلی هدف اولیه از انجام این پژوهش، تهیه سیستم‌های امولسیون‌ژل سرد برپایه امولسیون پیکرینگ‌های ایزوله پروتئین سویا و کمپلکس ایزوله پروتئین سویا-صمغ دانه ریحان در نسبت‌های مختلف جرمی پروتئین به پلی‌ساکارید (۰:۱، ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳) و بررسی ویژگی‌های (میزان پایداری، میزان پایداری پس از اعمال تیمارهای حرارتی، ساختار میکروسکوپی، ویژگی‌های بافتی و خصوصیات ویسکوالاستیک) این سیستم در حضور نانوذرات متفاوت است. هدف دوم استفاده از سیستم‌های امولسیون‌ژل با پایداری و خصوصیات مکانیکی مناسب به‌عنوان جایگزین چربی در خامه است.

مواد و روش‌ها

دانه‌های ریحان از یک عطاری در مشهد خریداری شد. اتانول ۹۶٪ از شرکت تقطیر خراسان، ایران تهیه شد. استخراج صمغ از دانه‌های ریحان براساس روش اصلاح شده مطالعات پیشین (ناجی و همکاران، ۲۰۱۶) انجام گرفت. روغن آفتاب‌گردان تجاری جهت تهیه امولسیون‌ها خریداری شد. ایزوله پروتئین سویا از شرکت Shandong Yuxin Bio-Tech Co (چین) (۹۱/۴۵ درصد پروتئین) تهیه شد. سدیم آزید (NaN_3) از شرکت اپلی چم آلمان تهیه گردیدند. سدیم دودسیل سولفات (SDS)[6]، اسید کلریدریک، سدیم هیدروکسید کلسیم، کلسیم کلرید و سدیم کلرید از شرکت مرک آلمان خریداری شد.

تهیه امولسیون ژل

امولسیون اولیه به روش امولسیون پیکرینگ تهیه شد. محلول‌های ISP-BSG در pH ۶ به‌ترتیب با نسبت های مختلف جرمی پروتئین:

1 Pickering
2 Coalescence
3 Isolated soy protein
4 Glycinin
5 Conglycinin
6 Sodium dodecyl sulphate

پلی‌ساکارید ۰:۱، ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳ مخلوط و به‌ترتیب 1S: 0B، 1S: 1B، 2S: 1B و 3S: 1B نامگذاری شدند. جهت تهیه پیکرینگ از ذرات جامد ISP و ISP-BSG استفاده شد که براساس روش ناجی طبسی و همکاران (۲۰۱۹) تولید شدند. برای تهیه امولسیون، روغن آفتابگردان (۶ میلی‌لیتر) به آرامی به محلول ذرات جامد (۲۰ میلی‌لیتر) تحت هموژنایزر (اولترا توراکس تی ۲۵، IKA، آلمان) با سرعت ۶۰۰ دور در دقیقه اضافه شد. بعد از این‌که اضافه کردن روغن کامل شد، همگن‌سازی در ۱۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه ادامه یافت. جهت تهیه امولسیون ژل سرد به تمام نمونه‌های امولسیون پیکرینگ تهیه شده نمک کلسیم کلرید (۱۰ mM) اضافه شد. سپس عمل همزدن با سرعت بالا برای پخش شدن کلسیم در سیستم امولسیون انجام شد (کوهن و همکاران، ۲۰۱۰). تهیه امولسیون‌ژل به روش سرد با افزودن نمک کلسیم کلرید انجام شد.

پایداری امولسیون ژل

ساختار امولسیون ژل‌پیکرینگ به مدت ۳۰ روز در دمای ۲۵°C نگهداری شد و میزان روغن خارج شده از ساختار امولسیون ژل‌پیکرینگ به‌عنوان میزان نشت روغن گزارش شد (دی‌وریئس و همکاران، ۲۰۱۵).

پایداری امولسیون‌ژل پس از اعمال تیمارهای حرارتی

ساختار امولسیون ژل پیکرینگ به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس با ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفوژ شد و پایداری امولسیون براساس محاسبه میزان روغن جدا شده محاسبه گردید (دی‌وریئس و همکاران، ۲۰۱۵).

بررسی ساختار امولسیون ژل پیکرینگ

جهت بررسی ساختار امولسیون ژل پیکرینگ، نمونه‌ها بر روی لام قرار گرفته و توسط میکروسکوپ نوری دیجیتال (demobaL، آمریکا) از آنها عکس تهیه شد (وو و همکاران، ۲۰۱۱).

آنالیز پروفایل بافت

جهت بررسی خصوصیات بافتی نمونه امولسیون ژل پیکرینگ، آزمون اکستروژن پسرو[1] انجام گرفت. دستگاه آنالیز بافت (TA.XT plus، انگلستان) با پروب دیسکی شکل با قطر ۳۵ میلی‌متر با سرعت ۱/۵ میلی‌متر بر ثانیه و میزان فشردگی ۵۰ درصد ارتفاع نمونه برای بررسی خصوصیات بافتی امولسیون ژل استفاده و تمامی آزمون‌ها در دمای محیط (۲۵°C) انجام گردید. میزان نیروی تریگر نمونه ۳ گرم بود. پارامترهای بافتی سفتی، قوام و چسبندگی اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفتند (نوربهشت و همکاران، ۲۰۱۸).

بررسی ویژگی‌های ویسکوالاستیک

آزمون‌های رئولوژیکی دینامیکی امولسیون ژل‌ها با استفاده از رئومتر پارفیزیکا (آلمان) مجهز به هندسه مخروط- صفحه در حالت کنترل‌شده کرنش انجام گرفت. ابتدا ناحیه خطی ویسکوالاستیک (LVE)[2] نمونه‌ها با انجام آزمون کرنش متغیر در دمای ۲۵°C تعیین گردید. دمای نمونه با استفاده از پلیتر کنترل شد و جهت حفظ یکنواختی دما در حالت فعال طی آزمون، نمونه‌ها با یک ژاکت محافظ (هود اختصاصی دستگاه) پوشیده شدند. پس از قرار دادن نمونه‌ها بر روی پلتیر ۱۰ دقیقه زمان استراحت داده شد تا دمای نمونه به دمای ۲۵°C برسد. آزمون کرنش متغیر در فرکانس ثابت ۱ هرتز و در دامنه کرنش ۰/۱ تا ۱۰۰ درصد به‌منظورتعیین ناحیه LVE انجام گرفت. با توجه به آزمون کرنش متغیر ناحیه خطی در کرنش ثابت ۰/۵ درصد برای تمامی نمونه انتخاب گردید. آزمون فرکانس متغیر در دامنه فرکانس زاویه‌ای ۰/۱-۱۰۰ Hz، کرنش ثابت ۰/۵ درصد و دمای ۲۵°C مورد بررسی قرار گرفت. مدول‌های ذخیره[3]، افت[4] و زاویه فازی[5] مورد بررسی قرار گرفتند. جهت برآورد پارامترهای خصوصیات ویسکوالاستیک از نرم‌افزار فیزیکا رئومتر دیتا آنالیز[6] (Rheoplus/32 version V3.40) و متلب (۲۰۱۵a) استفاده گردید (ناجی و همکاران، ۲۰۱۷).

تهیه خامه با چربی کاهش یافته در سه سطح

پس از انتخاب نمونه‌های منتخب سیستم‌های امولسیون ژل از نظر پایداری، تولید خامه با جایگزینی درصدهای مختلف امولسیون ژل برای کاهش میزان ۵، ۱۰ و ۱۵٪ چربی انجام شد (اروجی و همکاران، ۲۰۱۷).

بررسی خصوصیات خامه

میزان آب‌اندازی

جهت بررسی میزان آب اندازی خامه، مقدار ۱۰ گرم از نمونه خامه در لوله آزمایشگاهی مدرج قرار داده شد و در دستگاه سانتریفوژ با سرعت ۳۴۶۷ g به مدت ۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تحت سانتریفیوژ قرار گرفت (اروجی و همکاران، ۲۰۱۷).

1 Back extrusion
2 Linear Viscoelasticity
3 Storage modulus
4 Loss modulus
5 Phase angle
6 Physica Rheometer Data Analysis

آزمون حسی

جهت بررسی ویژگی‌های حسی خامه از گروه داوران چشایی متشکل از ۹ نفر در بازه سنی ۲۵ تا ۳۵ سال (مذکر و مونث) و از دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته علوم و صنایع غذایی انتخاب شدند. برای این منظور نمونه ها در اختیار داوران چشایی قرار گرفت و از آنها خواسته شد در مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای نسبت به امتیازدهی خامه ها در خصوص پارامترهای رنگ، عطر، طعم، بافت و پذیرش کلی اعلام نظر نمایند. همچنین از داوران خواسته شد جهت از بین رفتن طعم ناشی از هر نمونه، در بین هر دو نمونه اندکی از آبی که در اختیار آنها قرار گرفته بود استفاده کنند (اروجی و همکاران، ۲۰۱۷).

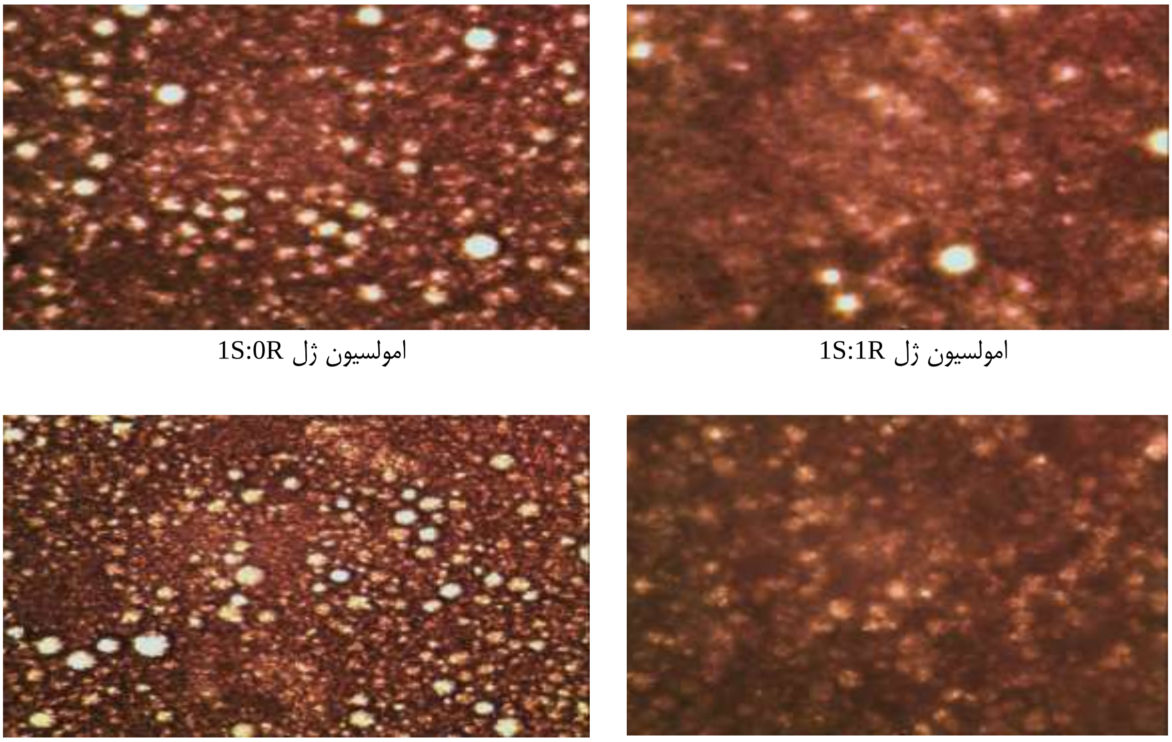
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه تحلیل آماری نتایج از طرح کاملا تصادفی ساده و فاکتوریل استفاده گردید. داده‌ها توسط آنالیز واریانس (ANOVA) و اختلاف بین میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS۱۶ به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

ساختار امولسیون ژل‌ها

میکروساختار امولسیون ژل های تهیه شده به روش سرد (با افزودن ۱۰ mM نمک کلسیم کلرید) در شکل ۱ نمایش داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت در ساختار تمامی نمونه‌ها شبکه ژلی مشاهده شد. در تمامی نمونه‌ها ساختار ژل همگن بود، اما ساختار با توجه به نسبت پروتئین به پلی‌ساکارید متفاوت بود. شبکه‌های امولسیون‌ژل از قطرات روغن جمع شده تشکیل شده است. ساختار شبکه با قطرات روغن جمع‌شده در نمونه‌های 1S:0B و 2S:1B واضح‌تر بود (شکل ۱).



امولسیون ژل 1S:1R — امولسیون ژل 1S:0R

امولسیون ژل 3S:1R — امولسیون ژل 2S:1R

شکل ۱- تصاویر میکروسکوپی ساختار امولسیون ژل پیکرینگ پایدار شده با نانوذرات ISP و کمپلکس ISP-BSG با بزرگنمایی ۴۰×

استفاده از نانوذرات حاوی BSG به‌عنوان ذرات پیکرینگ باعث هموژن و فشرده‌تر شدن ساختار امولسیون‌ژل شده است. لایه‌های امولسیون‌ژل در نمونه‌های 1S:0B و 2S:1B ضخیم‌تر بود و این مسئله در نمونه 2S:1B مشهودتر بود. این احتمال وجود دارد نانوذرات 2S:1B تمایل به تشکیل چندلایه داشته باشند، و چندلایه با ویسکوالاستیک بالا ایجاد نمودند. نمک کلسیم کلرید باعث القای ژل شده و برهم‌کنش الکترواستاتیک نقش مهمی در تعیین تجمع ذرات پروتئینی با درجه حرارت کم در نوع ژل‌های سرد دارد (برایانت و مک‌کلمنتس، ۱۹۹۸).

استفاده از روش ژل سرد امکان اتمام فرآیند دناتوراسیون پروتئین را قبل از القای ژل ایجاد می‌کند که امکان استفاده کارآمدتر از پروتئین به‌عنوان واحد ساختمانی یک شبکه پروتئینی را فراهم می‌آورد (آلتینگ، ۲۰۰۳).

پایداری امولسیون ژل

براساس نتایج پایداری امولسیون، ذرات ISP توانایی جلوگیری از خامه‌ای شدن امولسیون‌ژل پیکرینگ را دارند (جدول ۱). اگرچه با توجه به ویژگی‌های ساختاری نانوذرات ISP و ISP-BSG به یک میزان در جلوگیری از خامه‌ای شدن مؤثر نبودند. نتایج حاصل از پایداری سانتریفیوژی امولسیون‌ژل نشان‌داد که نمونه‌های 1S:0B و 2S:1B دارای بیشترین پایداری هستند (به‌ترتیب ۸۱/۳۶ و ۸۶/۴۱٪) (جدول ۱). پایداری امولسیون توسط نانوذرات 2S:1B افزایش یافت، و مانع در هم ادغام شدن قطرات روغن شد. در هم ادغام شدن[1] یک فرایند برگشت‌ناپذیر است که زمانی اتفاق می‌افتد که قطرات کوچک برای تشکیل قطرات بزرگتر با هم جمع می‌شوند، یا وقتی قطرات برای مدت طولانی با یکدیگر نزدیک هستند. این شامل پارگی لایه و سد ایجاد شده توسط نانوذرات است (کاستا و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول ۱- پایداری امولسیون‌ژل پیکرینگ طی ٤ هفته نگهداری در دمای ۲۵°C.*

نمونه‌ها	پایداری طی سانتریفوژ	هفته ۱	هفته ۲	هفته ۳	هفته ٤
1S:0B	۸۱/۳۶±۱/۲۱[a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]
1S:1B	۷۵/۰۰±۲/۳۳ [c]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]
2S:1B	۸۶/۴۱±۳/۳۷ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]
3S:1B	۷۸/۲۴±۱/۶۸ [b]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]	۱۰۰±۰/۰۰ [a]

*حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین امولسیون ژل‌ها می‌باشد (آزمون دانکن، P<۰/۰۵).

این افزایش پایداری می‌تواند مربوط به تشکیل یک لایه سطحی ضخیم‌تر در اطراف قطرات در حضور ذرات 2S:1B باشد. در شکل ۱ مشاهده شد که لایه‌های امولسیون 2S:1B ضخیم‌تر است. این احتمال وجود دارد نانوذرات 2S:1B تمایل به تشکیل چندلایه داشته باشند، و چندلایه با ویسکوالاستیک بالا ایجاد نمودند که این لایه‌های بسیار ویسکوالاستیک مانع از جمع شدن قطرات روغن می‌شود. در تحقیقات پیشین نیز به نقش لایه ویسکوالاستیک حاصل از نانوذرات در ایجاد پایداری اشاره داشته‌اند. هنگامی که ذرات پروتئین آب پنیر در تماس با روغن مایع (یعنی در امولسیون) هستند، لایه پروتئین ویسکوالاستیک آنها مانع فیزیکی و الکترواستاتیک کافی در برابر ناپایداری را فراهم می‌کند (پاولیک و همکاران، ۲۰۱۶). گزارش شده است که پل زدن قطرات[2] می‌تواند ثبات مکانیکی مؤثرتری ایجاد و به ایجاد یک ساختار با ویژگی‌های رئولوژیکی شبه‌ژل در امولسیون‌های پیکرینگ کمک کند (لی و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به خصوصیات چسبندگی BSG ممکن است نیروهای چسبندگی بین قطره‌های مجزا را که دارای یک لایه‌ای از ذرات هستند، افزایش دهد و منجر به تشکیل ذرات با چند لایه نانوذرات شود (خوریه و همکاران، ۲۰۱۵).

آزمون سانتریفوژ یک روش سریع برای بررسی پایداری امولسیون است، اما گاهی اوقات ممکن است رفتار واقعی امولسیون در طول نگهداری را منعکس نکند. بنابراین، ثبات امولسیون طی ۴ هفته نگهداری نیز مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). نتایج پایداری امولسیون‌ها طی نگهداری مشابه با روش سانتریفوژ مطابقت نداشت. طی این آزمون تمامی نمونه‌ها دارای پایداری ۱۰۰٪ بودند و هیچ جداشدن فازی مشاهده نشد. نرخ تغییرات پایداری طی نگهداری توسط توزیع اندازه ذرات تحت تأثیر قرار می‌گیرد. براساس قانون استوک، سرعت حرکت قطره متناسب با مربع شعاع آنها است. پایداری امولسیون در برابر جدایی گرانشی می‌تواند با کاهش اندازه قطرات افزایش یابد (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۱). اندازه قطرات روغن امولسیون ژل پیکرینگ‌ها یکسان و در حدود ۱ µm بود (داده‌ها گزارش نشده است) که باعث پایداری بیشتر این امولسیون‌ها طی نگهداری نسبت به سانتریفوژ شد (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۱).

آنالیز پروفایل بافت امولسیون ژل پیکرینگ

تاثیر استفاده از نانوذرات ISP و ISP-BSG به‌عنوان پایدارکننده پیکرینگ بر ویژگی‌های بافتی امولسیون ژل در شکل ۲ نمایش داده شده است. سفتی به‌منظور نشان دادن قدرت ساختار یک ماده تحت تاثیر نیروی فشاری اندازه‌گیری می‌شود. بسته به نوع سیستم غذایی، این پارامتر یک ویژگی بسیار مهم است (فیزمن، ۲۰۰۰؛ هویفلر،۲۰۰۴؛ لو و همکاران، ۲۰۰۰). در آزمون اکستروژن پسرو، میزان سفتی امولسیون ژل نمونه پایدارشده با نانوذرات ISP، ۶۷/۴۴ g بود که کمترین میزان سفتی را داشت (شکل ۲- الف). استفاده از نانوذرات کمپلکس ISP-BSG باعث افزایش معنی‌دار در سفتی امولسیون ژل

1 Coalescence

2 Droplets bridging

شـد (P<۰/۰۵). این نتیجه با تصـاویر میکروسـاختار امولسـیون ژل (شکل ۱) مطابقت دا شت. فـ شرده شدن ساختار امول سیون ژل‌ها در حضـور نانوذرات کمپکس ISP-BSG در مقایســه با ISP را افزایش می دهد. تغییرات میزان سـفتی با نسـبت پروتئین به پلی سـاکارید کمپلکس در ارتباط بود. امولسـیون ژل 1S:1B، 2S:1B و 3S:1B به‌ترتیب دارای میزان ســختی ۸۳/۲۹، ۱۱۳/۷۱ و g ۱۲۲/۲۷ بود که تفاوت بین نمونه 2S:1B و 3S:1B معنی دار نبود (P>۰/۰۵). حضـور نـ سبت بالاتر ISP به BSG در نانوذرات منجر به ایجاد امول سیون ژل با بافت سـفت تر گردید. به‌نظر می رسـد وجود صـمغ دانه ریحان در سـاختار نانوذرات باعث شـده که ایجاد اتصـالات بین نانوذرات بیشـتر شود و ژل قوی‌تری تـ شکیل گردد. از سوی دیگر صمغ دانه ریحان باعث ایجاد یک ساختار ژل مانند و یک لایه تثبیت‌کننده ضخیم‌تر در اطراف ذرات می‌شود (لیو و تانگ، ۲۰۱۶). بنابراین حضور BSG باعث تغییر در خصوصیات سطح نانوذرات ISP شده و نانوذرات ISP-BSG بهتر در سطح مشترک روغن و آب قرار می گیرد.

پارامتر چسبندگی به‌کار مورد احتیاج برای غلبه بر نیروهای جاذب بین سطح ماده غذایی و سطح موادی که در تماس با آن هستند؛ اشاره دارد (زیناک، ۱۹۷۵). با توجه به تاثیرگذاری چسبندگی بر خصوصیات کلی، ظاهر و مدت زمان نگهداری محصولات غذایی، میزان و پایداری آن یک پارامتر مهم باشد. همانطور که شکل ۲- ب مشاهده می‌شود، نمونه‌های پایدارشده با نانوذرات کمپلکس ISP-BSG (به‌جز 1S:1B) میزان چسبندگی بالاتری نسبت به نمونه‌های امولسیون پایدار شده توسط ISP را داشتند. کمترین میزان چسبندگی متعلق به نمونه 1S:1B بود. چسبندگی به دو روش: چسبندگی به تجهیزات تولید یا چسبیدن به انگشتان دست و دهان قابل مشاهده است. ممکن است این خاصیت برای محصولاتی مانند سس سالاد، پودینگ، محصولات قنادی، محصولات نانوایی مثبت باشد و برای محصولاتی مانند ماکارونی، پاستا، مغزنان، برخی از محصولات گوشتی یک ویژگی منفی تلقی شود. گاهی اوقات بسته به عوامل اجتماعی و فرهنگی این خاصیت تحت تأثیر قرار می‌گیرد (ویلیامز و همکاران، ۲۰۰۸). در نتیجه برای امولسیون‌هایی که در فرمولاسیون اسپردها و خامه استفاده خواهند شد وجود چسبندگی مزیت محسوب می‌شود.

میزان فنریت امولسـیون ژل پایدارشـده توسـط پیکرینگ ISP در دمای ℃ ۲۵، mm ۱۰/۵۵ مـ شاهده گردید. ا ستفاده از پیکرینگ‌های کمپلکس BSG–ISP باعث افزایش میزان الاستیسته امولسیون ژل‌ها شد (P<۰/۰۵) به غیر از امولسیون‌ژل 1S:1B که میزان فنریت نسبت به نمونه شاهد کاهش‌یافت (P>۰/۰۵). در نتیجه میزان الا ستیسیته و قابلیت حفظ شکل ژل با ا ستفاده از پیکرینگ‌های 3S:1B و 2S:1B افزایش می‌یابد (شکل ۲-ج).

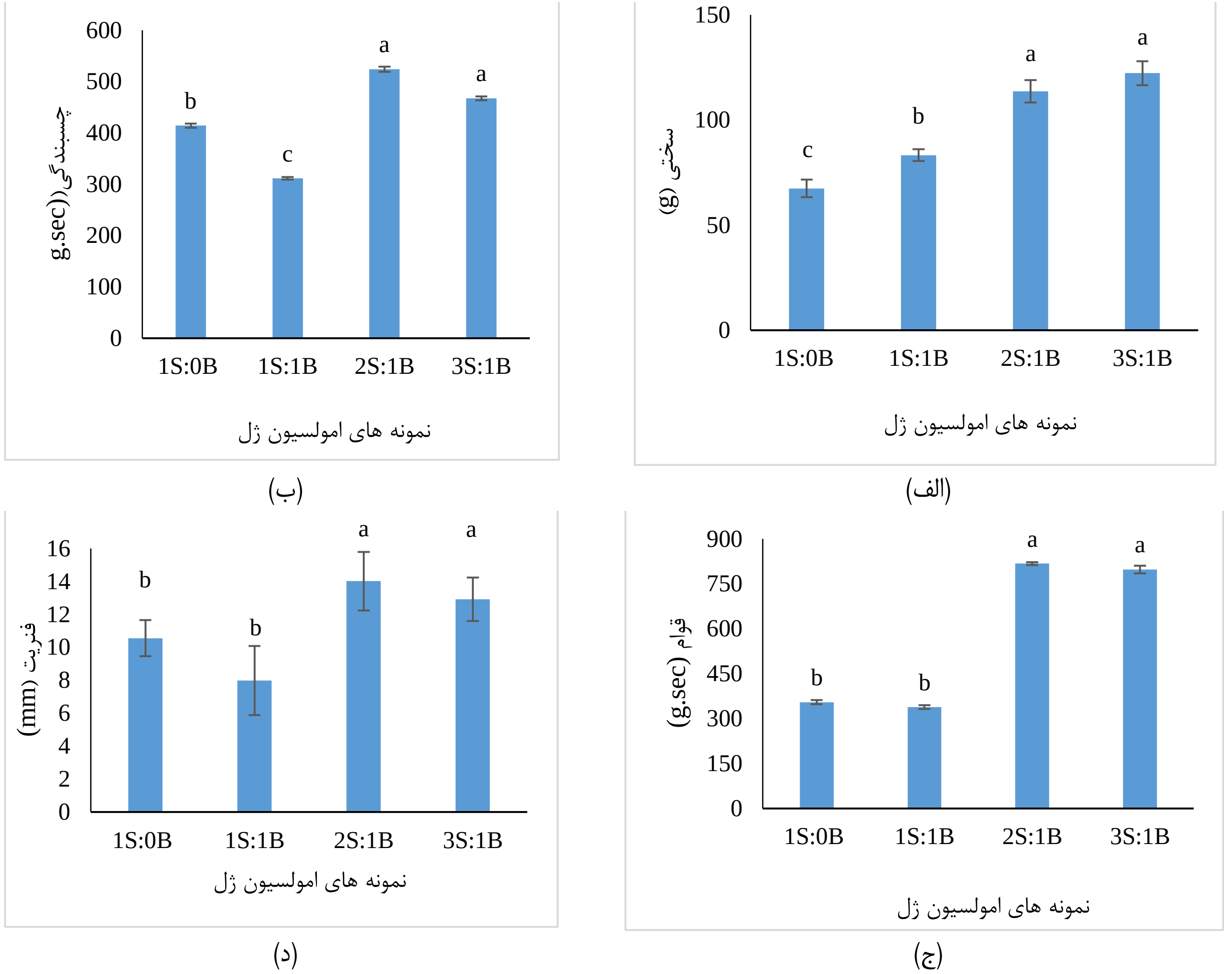
قوام امولســیون‌ژل دارای نانوذرات ISPدر حدود g.s ۳۵۴/۷۶ بود که تفاوت معنی‌داری با امولســیون ژل 1S:1B نداشــت (P>۰/۰۵). بیشــترین تغییر معنی‌دار در نمونه 2S:1B مشــاهده گردید که میزان قوام .g ۸۱۷/۳۹ مشـاهده شـد (شـکل ۲-د). نتایج مجدداً گویای این مطلب ا ست که قدرت شبکه ژلی با ا ستفاده از پیکرینگ‌های 2S:1B و 3S:1B افزایش می یابد، در نتیجه نیروی لازم برای غلبه به نقاط اتصــال به طور معنی دار افزایش یافت. این نتایج افزایش اتصــال در شبکه امولسیون ژل را با استفاده از پیکرینگ‌های کمپلکس در مقایسه با ISP نشان می‌دهد. افزایش ویسکوزیته شبکه ژل از برخورد قطرات جلوگیری می کند و باعث تقویت پایداری امولســیون می شــود (آرکومانیس و همکاران، ۲۰۱۹). علت پایداری بیشتر در نمونه 2S:1B مربوط به قوام بالاتر آن نیز باشد.

بررسی ویژگی‌های ویسکوالاستیک امولسیون ژل

خواص رئولوژیکی امولسیون‌ها تأثیر قابل توجهی در فرایند و کاربرد امولسیون‌ها دارند. بنابراین، اثرات نانوذرات ISP و نانوذرات 2S:1B بر خواص رئولوژیکی امولسیون ژل پیکرینگ با استفاده از اندازه‌گیری رئولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا آزمون کرنش متغیر در فرکانس ثابت ۱ هرتز و در دامنه کرنش ۰/۱ تا ۱۰۰ درصد به منظورتعیین ناحیه خطی انجام گرفت که با توجه به نتایج ناحیه خطی در کرنش ثابت ۰/۵ درصد برای تمامی نمونه انتخاب گردید. آزمون فرکانس متغیر امولسیون ژل پیکرینگ 1S:0B و 2S:1B به‌عنوان پایدارترین سیستم امولسیون ژل در کرنش ثابت Pa ۰/۵٪ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آزمون خواص رئولوژیکی دینامیک در شکل ۳- الف نمایش داده شده است و داده‌های حاصل از این آزمون در جدول ۲ خلاصه شده‌اند.

براســاس نتایج آزمون فرکانس متغیر مقادیر مدول ذخیره (G′) در تمام طیف فرکانس اعمال شــده بیشــتر از مدول اتلاف (G″) بود و نمودارهای 'G و"G کاملا موازی و تقریبا مســتقل از فرکانس بود و نقطه تقاطعی وجود نداشــت. آزمون فرکانس متغیر می‌تواند ســه نوع سیستم را شناسایی کند: محلول‌های رقیق، محلول‌های غلیظ و ژل‌ها. برای ژل‌ها، در محدوده فرکانس اعمال‌شـده 'G همواره بیشـتر از "G اســت. در محلول های رقیق در محدوده فرکانس مورد مطالعه "G بزرگتر از 'G اســـت و مدول ها در فرکانس‌های بالاتر به هم نزدیک می شــوند. اما در محلول‌های پلی‌ســاکاریدی غلیظ، در فرکانس‌های پایین مقدار مدول 'G کمتر از"G اســت و در میانه محدوده فرکانس اع مالی یـ کدیگر را قطع می کنـ ند (کیوتز، ۲۰۱۳). اگر چه کلارک و راس-مورفی (۱۹۸۷) برای ســیالاتی که نمودارهای 'G و"G کاملا موازی هستند لفظ ژل ضعیف یا مایعات ساختاری را ا ستفاده می کنند که بیانگر وجود شــبکه بهم تنیده در ســاختار آنها اســت که حتی در فرکانس‌های بالا پایدار ا ست. مقادیر بیـ شتر 'G از "G بیانگر رفتار ژل

مانند (جامد گونه) در امولسیون ژل پیکرینگ های تهیه شده است. به‌طور مشابه، نانوذرات کافییرین و نانوذرات نشاسته نیز منجر به تولید امولسیون پیکرینگ با خصوصیات رئولوژیکی ژل مانند می شوند (جی و همکاران ، ۲۰۱۷؛ ژی آو و همکاران، ۲۰۱۷).

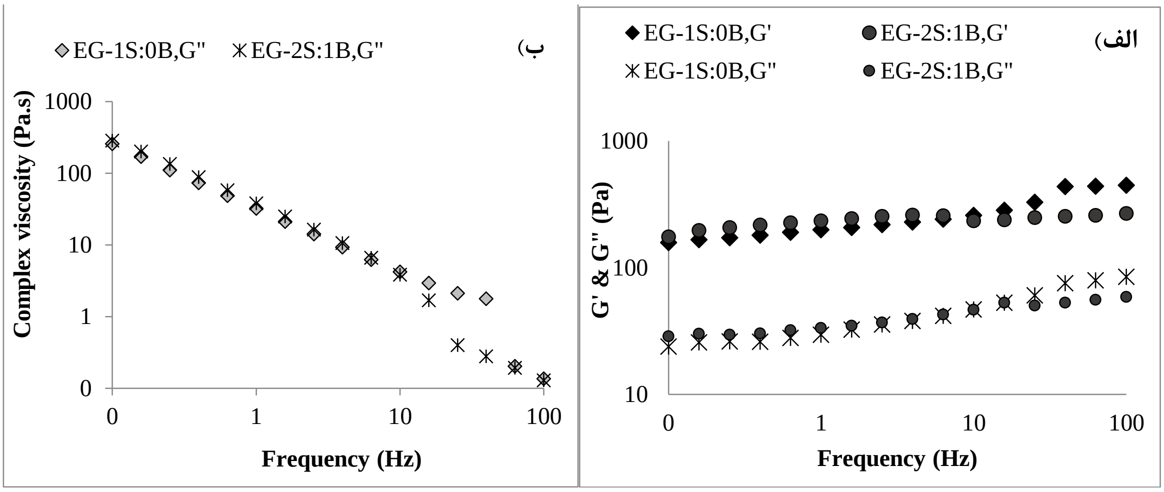


شکل ۲- ویژگی های بافتی (سختی (الف)، چسبندگی (ب)، قوام (ج) و فنریت (د)) امولسیون‌ژل پیکرینگ پایدار شده با نانوذرات ISP و کمپلکس ISP-BSG.

حروف مختلف روی هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین امولسیون‌ژل‌های مختلف صمغ می‌باشد (P<۰/۰۵).

علاوه بر این، یانگ و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که تشکیل شبکه امولسیون ژل پیکرینگ می تواند برخی از ویژگی های منحصر به فرد و مفید مانند رهاسازی بهتر دارو و پایداری بیشتر در امولسیون ایجاد کند. این امولسیون ژل مانندها بیشتر توسط پروتئین های غذایی ساخته شده‌اند که به‌عنوان امولسیفایر پیکرینگ تهیه شده‌اند مانند پروتئین نخود فرنگی (شائو و تانگ، ۲۰۱۶)، گلایسینین سویا (لو و همکاران، ۲۰۱۳؛ لیو و تانگ، ۲۰۱۶) ذرات نشاسته‌ای (راینر و همکاران ، ۲۰۱۲). براساس مطالعات منشأ تشکیل امولسیون ژل ها، شامل بخش روغن، غلظت پروتئین و نحوه تهیه امولسیون است (لو و همکاران ، ۲۰۱۳). همچنین، گزارش شده است بار سطحی نانوذرات ایزوله پروتئین سویا در جذب سطحی اهمیت دارند و در نهایت بر ویژگی های امولسیون موثر هستند (لیو و تانگ، b۲۰۱۶). درنتیجه حضور صمغ دانه ریحان به صورت کمپلکس در کنار ایزوله سویا، بار سطحی نانوذرات ر ا دچار تغییر کرد (جدول ۲) که این مسئله جذب سطحی نانوذرات 2S:1B را بهبود داده است و بر ویژگی‌های الاستیک امولسیون ژل موثر بوده است.

براساس آزمون فرکانس متغیر، مقدار مدول ذخیره امولسیون ژل پیکرینگ 2S:1B NPs (۲۳۶/۰۰ Pa) بیش از 1S:0B NPs (۲۰۰/۰۰ Pa) بود (جدول ۲). مقدار مدول اتلاف امولسیون ژل پیکرینگ 2S:1B NPs (۳۳/۶۰ Pa) به طور قابل توجهی بیش از 1S:0B NPs (۲۹/۸۰ Pa) بود. مقادیر بالاتر G' و G" بیانگر تشکیل شبکه قوی‌تر و ایجاد رفتار جامد گونه تر در امولسیون ژل پیکرینگ 2S:1B است.



شکل ۳- نمودار مدول ذخیره (G') و مدول اتلاف (G'') (الف) و ویسکوزیته کمپلکس (η*) (ب) در برابر فرکانس امولسیون ژل در دمای ۲۰°C کرنش ۰/۵ درصد.

نتایج نشان داد که نوع پیکرینگ مورد استفاده بر خواص رئولوژیکی امولسیون‌ها تأثیر قابل توجهی دارد. این نشان می‌دهد که ویسکوزیته امولسیون ژل پیکرینگ تحت تاثیر نوع پیکرینگ مورد استفاده جهت پایداری است. اردیتی و همکاران (۲۰۰۴) نیز بیان داشتند که تشکیل یک شبکه ژل‌مانند برای امولسیون‌های پایدارشده با ذرات جامد، عمدتاً توسط خاصیت الاستیسیته بین سطحی ایجاد می‌شود که حاصل از چسبندگی قوی (یا برهمکنش‌های جانبی قوی) بین ذرات جامدی است که بین آب-روغن جذب می‌شوند. در نتیجه نانوذرات 2S:1B منجر به برهم‌کنش‌های ملکولی و بهم پیوستگی زنجیره‌های ملکولی بیشتر شده که این باعث تقویت رفتار ویسکوالاستیک امولسیون ژل شده است.

جدول ۲- مدول ذخیره (G')، مدول اتلاف (G") و ویسکوزیته کمپلکس (η*) امولسیون ژل در دمای ۲۵ °C کرنش ۰/۵ درصد و فرکانس ۱ Hz.

نمونه‌ها	G' (Pa)	G'' (Pa)	η*(Pa.s)	Tan δ	شیب η*
EG-1S:0B	۲۰۰/۰۰	۲۹/۸۰	۳۲/۲۰	۰/۱۵	-۱/۱۶
EG-2S:1B	۲۳۶/۰۰	۳۳/۶۰	۳۸/۰۰	۰/۱۴	-۱/۰۲

مقدار tanδ هردو امولسیون ژل در محدوده ۰/۱۴ قرار داشت که وجود یک ساختار ژل ضعیف را در امولسیون‌ها نشان می‌دهد. برای محلول‌های رقیق مقادیر tanδ بسیار بالا است، برای بیوپلیمرهای آمورف در محدوده ۰/۲ تا ۰/۳ است و برای پلیمرهای شیشه‌ای کریستالی و ژل‌ها در حدود ۰/۰۱ است (استف، ۱۹۹۹).

شکل ۳-ب نشان می‌دهد که ویسکوزیته کمپلکس (η^*) به‌صورت خطی با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد که بیانگر رفتار نیوتنی تضعیف‌شونده با برش امولسیون‌ها است. مقادیر ویسکوزیته کمپلکس 1S:0B (۳۲/۲۰ Pa.s) و 2S:1B (۳۸/۰۰ Pa.s) بود (جدول ۲). هیچ‌گونه رفتاری از رسیدن ویسکوزیته کمپلکس به مقدار ثابت نیوتنی در محدوده دامنه فرکانس اعمال شده وجود نداشت. پارامتر دیگری که بیان‌کننده قدرت ژل است شیب منحنی ویسکوزیته کمپلکس در برابر فرکانس η^*-f است. لگاریتم ویسکوزیته کمپلکس با لگاریتم فرکانس در دامنه ۰/۰۱ تا ۱۰ Hz رابطه خطی نشان داد. شیب η^* برای 1S:0B و 2S:1B به‌ترتیب ۱/۱۶ و ۱/۰۲ بود که بیانگر وجود ژل قوی‌تر در امولسیون پیکرینگ پایدارشده با نانوذرات دارای صمغ دانه ریحان است.

وابستگی بین G' و G" با فرکانس با استفاده از توابع قانون توان تعیین شد ($G'= a.\omega^b$ و $G''= c.\omega^d$) که در آن ω فرکانس نوسانی است، b و d شاخص‌های قانون توان در مدول ذخیره و اتلاف می‌باشند برای ژل کووالانسی، b= 0، در حالیکه برای یک ژل فیزیکی b>۰ است. در مقادیر b نزدیک به ۱، سیستم به صورت یک ژل ویسکوز رفتار می‌کند. بنابراین در مقادیر b و d نزدیک به صفر، G' و G" با فرکانس تغییر نمی‌کنند و الاستیسیته بالای ساختار را نشان می‌دهند (حصاری‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به مقادیر ضریب تبیین (۰/۹۷-۰/۹۱)، مدل قانون توان برای بیان رابطه بین مدول ذخیره و اتلاف با فرکانس مناسب است. با ملاحظه نتایج ارائه شده در جدول ۳ می‌توان دریافت که الاستیسیته بالاتری در امولسیون ژل 2S:1B وجود دارد که با نتایج آزمون مقادیر مدول الاستیک حاصل از آزمون فرکانس متغیر هم‌خوانی دارد. مقدارb در امولسیون ژل 1S:0B نشانگر عدم توانایی شکل‌گیری ژل قوی است و یک ژل ویسکوز را نشان می‌دهد.

جدول ۳- پارامترهای مدل توان برای مدول ذخیره، مدول اتلاف امولسیون ژل (دمای ^{o}C ۲۰، کرنش ۰/۵٪)

فراکسیون‌ها	$G'=a\omega^{b}$		$G''=c\omega^{d}$	
	b	R^2	d	R^2
EM-1S:0B	۰/۱۷	۰/۸۷	۰/۲۱	۰/۹۴
EM-2S:1B	۰/۰۲	۰/۹۵	۰/۱۲	۰/۹۳

نتایج ویسکوالاستیک نشان داد که حضور صمغ دانه ریحان در ساختار نانوذرات پیکرینگ باعث افزایش الاستیسیته امولسیون ژل می‌گردد. صمغ دانه ریحان بر ویژگی‌های سطحی ذرات اثر می‌گذارد که باعث ایجاد ذرات ژل مانند می‌شود. در حالی که نانوذرات ISP یک ساختار ژل ضعیف‌تری را تشکیل داد. لی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش نمودند لایه‌های ویسکوالاستیک منجر به پایداری بالای امولسیون می‌شوند.

میزان آب‌اندازی خامه

یکی از مهمترین مسائل در تولید خامه، مقدار آب‌اندازی پس از تولید می‌باشد که پذیرش و قابلیت مصرف آن را پایین می‌آورد (غلامحسین‌پور و مظاهری تهرانی، ۱۳۹۰). براساس مطالعات پیشین با کاهش چربی در فرمولاسیون خامه، مقدار آب‌اندازی آن افزایش پیدا می‌کند که به کاهش مقاومت مکانیکی شبکه پروتئینی مربوط است. غنی‌سازی با ماده خشک و همچنین افزودن هیدروکلوئیدها روش‌های متداول برای ممانعت از آب‌اندازی خامه کم‌چرب می‌باشند (ساهان و همکاران، ۲۰۰۸).

نتایج تحلیل آماری تاثیر جایگزینی امولسیون ژل‌های مختلف در درصدهای متفاوت بر میزان آب‌اندازی در جدول ۴ گزارش‌شده‌است. استفاده از درصدهای بالای جایگزینی با افزایش آب‌اندازی خامه همراه بود ($p<0/05$). حداقل آب‌اندازی در حداقل میزان جایگزینی مشاهده‌شد. شبکه ژلی امولسیون‌ژل از خروج آب جلوگیری می‌کنند. نوع امولسیون ژل بر میزان آب‌اندازی تاثیر معنی‌داری نداشت ($p>0/05$). کمترین میزان آب‌اندازی در نمونه ٪۵1S:0B و ٪۵2S:1B مشاهده شد که در حدود ۱ درصد بود.

جدول ٤- میزان آب‌اندازی (درصد) نمونه‌های خامه کم‌چرب

	٪۵1S:0B	٪۱۰1S:0B	٪۱۵ 1S:0B	٪۵2S:1B	٪۱۰2S:1B	٪۱۵2S:1B
میزان آب اندازی (٪)	۰/۹۲±۰/۱۶[d]	۱/۲۸±۰/۱۳[c]	۲/۱۱±۰/۲۰[a]	۰/۸۷±۰/۱۱[d]	۱/۴۴±۰/۰۹[c]	۲/۰۳±۰/۱۴[b]

*حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین امولسیون ژل‌ها می‌باشد ($P<0/05$).

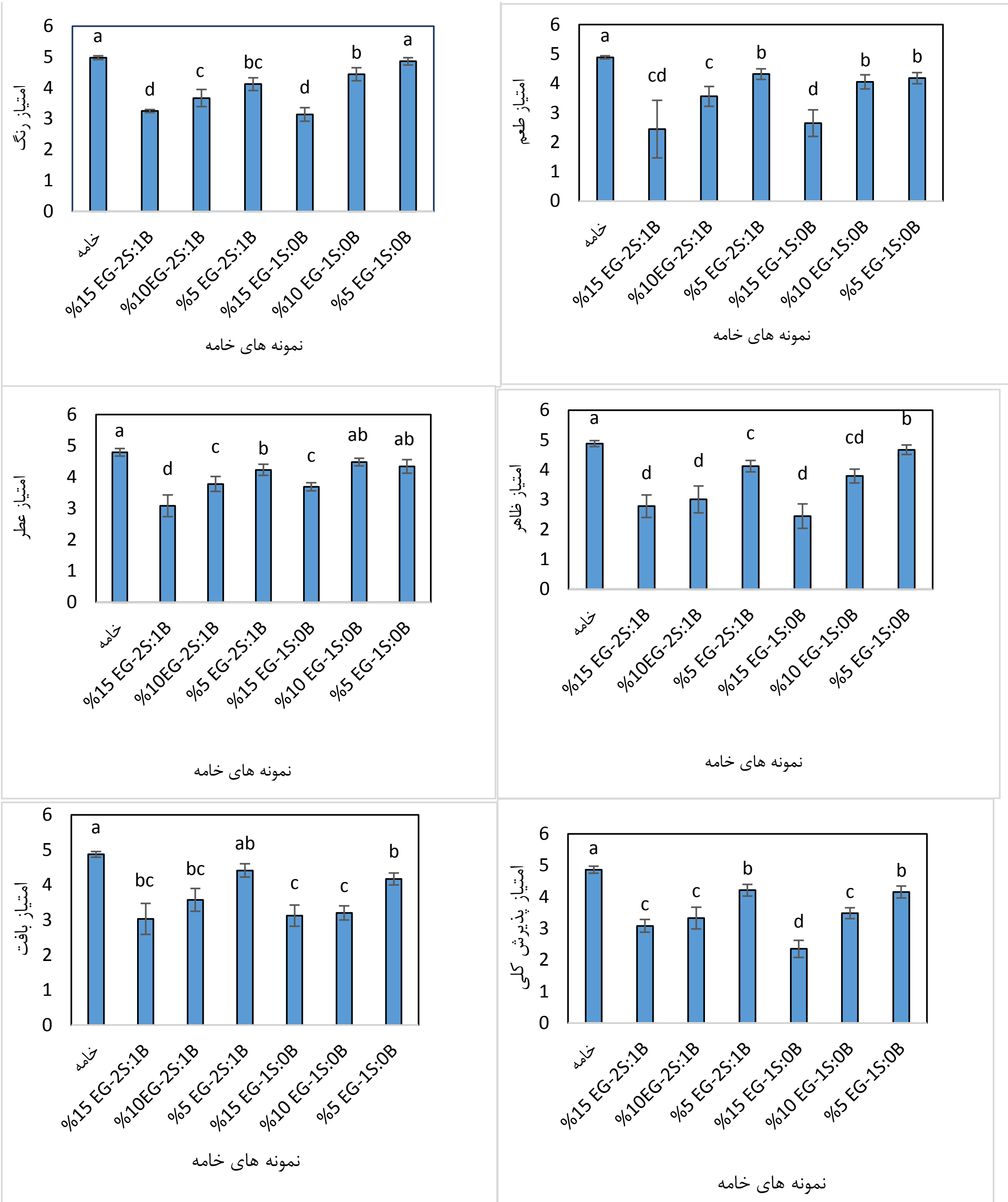
بررسی ویژگی‌های ارگانولپتیکی خامه

میزان چربی در محصولات غذایی بر احساس دهانی و خصوصیات حسی محصولات غذایی اثرگذار است. از این رو باتوجه به اهمیت نقش اجزاء تشکیل‌دهنده مواد غذایی بر خصوصیات حسی، آزمون ویژگی‌های ارگانولپتیکی خامه‌های کم چرب در مقایسه با خامه ۳۰٪ چربی توسط آزمون هدونیک ۵ نقطه مورد بررسی قرار گرفت.

مقایسه رنگ نمونه‌ها نشان‌داد بیشترین میـانگین نمـره رنگ (از نظر مطلوبیت) در بین گروه شاهد و تیمارهـای کـم چـرب مربـوط بـه نمونـه خامه کنترل و EG-1S:0B ۵٪ و کمترین میانگین نمره رنگ (رنگ تیره‌تر) مربوط به نمونه EG ۱۵٪ بود. با افزایش میزان جایگزینی چربی میزان امتیاز رنگ کاهش معنی‌دار داشت. اگرچه امتیاز بیشتر نمونه‌ها قابل قبول بود (شکل ۴).

در مشخصه کیفی طعم، نتایج نشان داد میزان طعم خامه به مقدار چربی وابسته است (شکل۴). نتایج نشـان داد کـه بیشـترین میـانگین نمـره طعـم مربـوط بـه خامه کنترل بود (۴/۸۹) و کمترین میانگین نمره طعم مربوط به ۱۵٪ جایگزینی سیستم امولسیون‌ژل بود ($p<0/05$). این تحقیق نشان داد که میزان جایگزینی نسبت به نوع سیستم در امتیاز طعم نقش دارد. از سویی دیگر بیشترین امتیاز در نمونه‌های کم چرب مربوط به سطوح ۵ درصد جایگزینی بود. پروفایل رهایش طعم‌ها به‌طور معنی‌دار تابع غلظت چربی است و با کاهش غلظت چربی، شدت رهاسازی طعم زیاد می‌شود. به عبارت دیگر چربی به‌عنوان حامل ترکیبات مولد طعم عمل می‌کند. به همین دلیل ترکیبات آروما با قطبیت کمتر، غلظت آستانه طعم بیشتری در روغن در مقایسه با غلظت آستانه طعم در آب دارند. تغییر جزئی در میزان روغن، اثرات معنی داری بر فشار بخار ترکیبات مولد طعم محلول در چربی (لیمونن و اتیل هپتانوات) داشت در حالی که فشار بخار ترکیبات هیدروفیل (دی استیل و پروپانول) به میزان کمی کاهش و یا حتی افزایش می‌یابد. پیراپرز و همکاران (۱۹۹۸) از طریق افزایش میزان لیپید در لبنیات منجر به حفظ ترکیبات طعم دهنده (آلدئیدها، متیل کتون‌ها، استرها و دی‌متیل دی سولفید) شدند، هرچند ساختار شیمیایی و میزان لیپوفیل بودن نیز موثر بود. جو و آهن (۱۹۹۹) نشان دادند آزادسازی طعم هیدروکربن ها، آلدئیدها ، کتونها و الکلها با میزان چربی امولسیون رابطه

خطی دارد. این اثر برای کتون‌ها و هیدروکربن‌های بزرگتر به‌دلیل تفاوت در حلالیت روغن مشخص‌تر بوده‌است.



شکل ٤- ارزیابی حسی خامه تهیه شده با جایگزینی درصدهای مختلف امولسیون‌ژل.

در هر حال در هیچ یک از نمونه‌های کم‌چرب طعم نامطبوع گزارش نشد. در تحقیقات پیشین گزارش شده است به کمک انکپسولاسیون روغن در ذرات ژل (امولسیون‌های ریزساختار)، احتمال کنترل انتخابی ترکیبات لیپوفیل در محصولات کم‌چرب افزایش می‌یابد. این نوع امولسیون‌ها قادر به کنترل شدت ترکیبات مولد طعم لیپوفیل و بهبود تعادل طعم در مخلوط های حاوی چند نوع طعم‌دهنده می‌شوند (آید و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج آزمون عطر مشابه طعم تابعی از میزان چربی بود (شکل ۴) و با افزایش درصد جایگزینی از ۵ به ۱۵٪ میزان امتیاز عطر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (p<۰/۰۵).

در مورد ویژگی بافتی (شکل ۴)، حضور سیستم جایگزین چربی باعث حفظ کیفیت مطلوب در نمونه‌های خامه کم چرب شد و در تمامی نمونه‌ها امتیاز بالاتر از ۳ کسب شد. نتایج حاکی از آن بود که بالاترین میانگین نمره، به ترتیب مربوط به نمونه‌های خامه کنترل و EG-2S:1B ۵٪ بود.

در بررسی نتایج قابلیت پذیرش توسط مصرف‌کننده (شکل ۴)، امتیاز نمونه EG ۵٪ و نمونه خامه شاهد نسبت به سایر نمونه‌ها بالاتر بود (p<۰/۰۵). اگرچه اکثر نمونه‌ها امتیاز بالاتر از ۳ کسب کردند به جزء نمونه EG-1S:0B ۱۵٪ (۲/۳۵). میزان امتیاز پذیرش بیشتر تحت تاثیر درصد جایگزینی چربی بود تا نوع سیستم جایگزین چربی بود.

نتیجه‌گیری

با استفاده از ذرات جامد ISP و ISP-BSG به‌عنوان امولسیون پیکرینگ، ساختارامولسیون شکل گرفت که با استفاده از کلسیم کلرید امولسیون ژل تشکیل شد. بسته به نوع پیکرینگ میزان پایداری متفاوت بود. همچنین حضور صمغ دانه ریحان به‌خصوص در نسبت ۲:۱ پایداری امولسیون ژل را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. حضور BSG باعث تغییر مورفولوژی و خصوصیات سطح نانوذرات می‌شود و جذب ذرات در حد فاصل روغن و آب را بهبود می‌دهد. در تمامی نمونه‌ها ساختار ژل همگن بود، اما ساختار و رفتار امولسیون ژل در حضور BSG و با توجه به نسبت پروتئین به پلی‌ساکارید متفاوت بود. در حضور ذرات 2S:1B پایداری افزایش پیدا کرد که مربوط به تشکیل لایه سطحی ضخیم‌تر در اطراف قطرات روغن توسط این نانوذرات است. همچنین صمغ دانه ریحان به پل‌زدن قطرات کمک می‌کند و ثبات مکانیکی مؤثرتری ایجاد کرده و به رئولوژی شبه‌ژل در امولسیون‌های پیکرینگ کمک کند. نتایج بافت‌سنجی نیز تایید کرد وجود صمغ دانه ریحان در ساختار نانوذرات باعث شده که ایجاد اتصالات بین نانوذرات بیشتر شود و امولسیون‌ژل قوی‌تری تشکیل شد. بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک تشکیل ژل را در هر دو سیستم امولسیون‌ژل تایید کرد. مقدار مدول ذخیره و اتلاف امولسیون‌ژل پایدارشده توسط پیکرینگ 2S:1B NPs بیش از 1S:0B NPs بود. مقادیر بالاتر G' و G" بیانگر تشکیل شبکه قوی‌تر و ایجاد رفتار جامد گونه‌تر در امولسیون ژل پیکرینگ 2S:1B است. با توجه به پایداری و خصوصیات بافتی از بین نمونه های امولسیون ژل، دو فرمول 1S:0B و 2S:1B جهت جایگزینی در خامه برای تولید خامه با چربی کاهش یافته استفاده شد. با استفاده از سیستم امولسیون‌ژل میزان آب‌اندازی در خامه با چربی کاهش یافته در محدوده ۲-۱ درصد بود که نشانگر کارایی این سیستم‌ها در کاهش آب‌اندازی در خامه است. شبکه ژلی امولسیون‌ژل از خروج آب جلوگیری می‌کنند. حداقل آب‌اندازی در حداقل میزان جایگزینی مشاهده شد. براساس نتایج آزمون حسی مشخص شد، مشخصه‌های کیفی نمونه‌های خامه بیشتر به میزان جایگزینی وابسته بودند تا نوع سیستم استفاده شده به‌عنوان جایگزین. حضور سیستم جایگزین چربی باعث حفظ کیفیت مطلوب در نمونه‌های خامه کم چرب شد و در تمامی نمونه‌ها امتیاز بالاتر از ۳ کسب شد. اکثر نمونه‌ها امتیاز بالاتر از ۳ کسب کردند که نشانگر مطلوبیت این نمونه‌ها از نظر داوران حسی است.

منابع

Alting, A,. C. (2003). Cold gelation of globular proteins. Thesis Wageningen University, The Netherlands.

Arditty, S., V. Schmitt, J. Giermanska-Kahn and F. Leal-Calderon (2004). "Materials based on solid-stabilized emulsions." *Journal of Colloid and Interface Science* 275(2): 659-664.

Arkoumanis, P. G., I. T. Norton and F. Spyropoulos (2019). "Pickering particle and emulsifier co-stabilised emulsions produced via rotating membrane emulsification." Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 568: 481-492.

Ayed, C., S. I. Martins, A. M. Williamson and E. Guichard (2018). "Understanding fat ,proteins and saliva impact on aroma release from flavoured ice creams." *Food chemistry* 267: 132-139.

Brodelius, P. E., C. Funk and R. D. Shillito (1988). "Permeabilization of cultivated plant cells by electroporation for release of intracellularly stored secondary products." *Plant cell reports* 7(3): 186-188.

Clark, A. H. and S. B. Ross-Murphy (1987). Structural and mechanical properties of biopolymer gels. *Biopolymers*, Springer: 57-192.

Costa, C., Medronho, B., Filipe, A., Mira, I., Lindman, B., Edlund, H., & Norgren, M. (2019). Emulsion formation and stabilization by biomolecules: The leading role of cellulose. *Polymers*, *11*(10), 1570.

De Vries, A., J. Hendriks, E. Van Der Linden and E. Scholten (2015" .(Protein oleogels from protein hydrogels via a stepwise solvent exchange route." *Langmuir* 31(51): 13850-13859.

Fiszman, S. and M. Damasio (2000). "Suitability of single-compression and TPA tests to determine adhesiveness in solid and semi-solid foods." *Journal of texture studies* 31(1): 55-68.

Ge, S., L. Xiong, M. Li, J. Liu, J. Yang, R. Chang, C. Liang and Q. Sun (2017). "Characterizations of Pickering emulsions stabilized by starch nanoparticles: Influence of starch variety and particle size." *Food chemistry* 234: 339-347.

Hesarinejad, M. A., S. M. Razavi and A. Koocheki (2015). "Alyssum homolocarpum seed gum: Dilute solution and some physicochemical properties." *International journal of biological macromolecules* 81: 418-426.

Hoefler, A. (2001). Carrageenan: chemistry, functionality, and applications, Oxford PA. p.

Jo, C. and D. U. Ahn (1999). "Fat reduces volatiles production in oil emulsion system analyzed by purge and trap dynamic headspace/gas chromatography." Journal of Food Science and Technology) Mysore) 64.4: 641-643.

Katsiari, M., L. Voutsinas, E. Kondyli and E. Alichanidis (2002). "Flavour enhancement of low-fat Feta-type cheese using a commercial adjunct culture." *Food Chemistry* 79(2): 193-198.

Kavas, G., G. Oysun, O. Kinik and H. Uysal (2004" .(Effect of some fat replacers on chemical, physical and sensory attributes of low-fat white pickled cheese.*" Food chemistry* 88(3): 381-388.

Khouryieh, H., G. Puli, K. Williams and F. Aramouni (2015). "Effects of xanthan–locust bean gum mixtures on the physicochemical properties and oxidative stability of whey protein stabilised oil-in-water emulsions." *Food chemistry* 167: 340-348.

Kuhn, K. R., Â. L. F. Cavallieri and R. L. Da Cunha (2010). "Cold‐set whey protein gels induced by calcium or sodium salt addition." *International journal of food science & technolog*y 45(2): 348-357.

Lee, M. N., H. K. Chan and A. Mohraz (2011). "Characteristics of pickering emulsion gels formed by droplet bridging." *Langmuir* 28(6): 3085-3091.

Li, C., Y. Li, P. Sun and C. Yang ,2013 .(Pickering emulsions stabilized by native starch granules." Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 431: 142-149.

Liu, F. and C.-H. Tang (2016). "Soy glycinin as food-grade Pickering stabilizers: Part. I. Structural characteristics, emulsifying properties and adsorption/arrangement at interface." *Food Hydrocolloids* 60: 606-619.

Liu, F. and C.-H. Tang (2016). "Soy glycinin as food-grade Pickering stabilizers: Part. II. Improvement of emulsification and interfacial adsorption by electrostatic screening." *Food hydrocolloids* 60: 620-630.

Lo, C. and L. Ramsden (2000). "Effects of xanthan and galactomannan on the freeze/thaw properties of starch gels." *Food/Nahrung* 44(3): 211-214.

Naji-Tabasi, S., B. Emadzadeh and R. Kadkhodaee" .(۲۰۱۹) Effects of pectin and xanthan gum on induced-flocculation phenomenon in an acidic model emulsion system." *Journal of Dispersion Science and Technolog*y 40(2): 256-263.

Naji-Tabasi, S. and S. M. A. Razavi (2016). "New studies on basil (*Ocimum bacilicum* L.) seed gum: Part II—Emulsifying and foaming characterization." *Carbohydrate polymers* 149: 140-150.

Naji-Tabasi, S., & Razavi, S. M. A. (2017). New studies on basil (*Ocimum bacilicum* L.) seed gum: Part III–Steady and dynamic shear rheology. *Food Hydrocolloids*, 67, 243-250.

Naji-Tabasi, S., S. M. A. Razavi and H. Mehditabar (2017). "Fabrication of basil seed gum nanoparticles as a novel oral delivery system of glutathione." *Carbohydrate polymers* 157: 1703-1713.

Naji-Tabasi, S., S. M. A. Razavi, M. Mohebbi and B. Malaekeh-Nikouei (2016). "New studies on basil (*Ocimum bacilicum* L.) seed gum: Part I-Fractionation, physicochemical and surface activity characterization." *Food Hydrocolloids* 52: 350-358.

Nourbehesht, N., Shekarchizadeh, H., & Soltanizadeh, N. (2018). Investigation of stability, consistency, and oil oxidation of emulsion filled gel prepared by inulin and rice bran oil using ultrasonic radiation. *Ultrasonics sonochemistry*, 42: 585-593.

Orouji, I., Dhanbarzadeh, B., and Danesh, E. (2017). Study of texture and sensory properties of prebiotic cream containing inulin and polydextrose by using response surface methodology. *Journal of food research*, 27(4), 193-207.

Pawlik, A., D. Kurukji, I. Norton and F. Spyropoulos (2016). "Food-grade Pickering emulsions stabilised with solid lipid particles." *Food & function* 7(6): 2712-2721.

Piraprez, G., Marie France Hérent and S. Collin (1998). "Determination of the lipophilicity of aroma compounds by RPHPLC." *Flavour and fragrance journal* 400-408.

Rayner, M., A. Timgren, M. Sjöö and P. Dejmek (2012). "Quinoa starch granules: a candidate for stabilising food-grade Pickering emulsions." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92(9): 1841-1847.

Sahan, N., K. Yasar and A. Hayaloglu (2008). "Physical, chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by a β-glucan hydrocolloidal composite during storage." *Food Hydrocolloids* 22(7): 1291-12.۹۷

Shao, Y. and C.-H. Tang (2016). "Gel-like pea protein Pickering emulsions at pH 3.0 as a potential intestine-targeted and sustained-release delivery system for β-carotene." *Food research international* 79: 64-72.

Steffe, J. F. (1996). Rheological methods in food process engineering, Freeman press.

Williams, P. D., L. N. Sadar and Y. Martin Lo (2009). "Texture stability of hydrogel complex containing curdlan gum over multiple freeze–thaw cycles." *Journal of Food Processing and Preservation* 33(1): 126-13.۹

Wu, M., Xiong, Y. L., & Chen, J. (2011). Rheology and microstructure of myofibrillar protein–plant lipid composite gels: Effect of emulsion droplet size and membrane type. *Journal of food engineering*, *106*(4), 318-324.

Yang, Y., Z. Fang, X. Chen, W. Zhang, Y. Xie, Y. Chen, Z. Liu and W. Yuan (2017). "An overview of Pickering emulsions: solid-particle materials, classification, morphology, and applications." *Frontiers in pharmacology* 8: 287.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 2, June. July. 2021, p. 365- 378

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۰ ص.۳۷۸-۳۶۵

Preparation of cold gel emulsion system using isolated soy protein- Basil seed gum complex as a fat replacement in cream

S. Naji-Tabasi[1], E. Mahdian[1], A. Arianfar[1], Sara Naji-Tabasi[2*]

Received: 2020.04.06
Accepted: 2020.07.18

Introduction: Fats have a special place in human nutrition and their main role is supplying energy for the body. But scientific findings approve an association between high fat intake and an increment risk of some diseases, such as atherosclerosis, heart disease, and …. Demand for low-fat foods has increased dramatically as people become more aware of fat consumption side effects. However, due to the multiple role of fats in food products, eliminating or decreasing fat lead to poor quality of products. Therefore, it is necessary to use a combination of fat substitutes to maintain the rheological, texture and sensory properties of the low fat food products. The use of emulsion gel structures are new methods for the production of low-fat product that has been studied in this investigation. The Pickering emulsion was used to produce the emulsion. In this method, instead of using surface-active agents, solid particles are used to stabilize the emulsion. The aim of this study was to prepare Pickering Emulsion from Isolated Soybean protein (ISP) and Basil Seed Gum (ISP-BSG) Complex. Finally, emulsion gel systems were applied as fat substitutes in cream.

Materials and Methods: Basil seeds were purchased from Mashhad market. Isolated soy protein was purchased from Shandong Yuxin Bio-Tech Co. (China). Sodium azide was purchased from Applichem Inc. (Dramstadt, Germany). Sodium dodecyl sulphate (SDS) was obtained from Merck, Germany. Pickering (solid particles) of soy protein isolate (SPI) and SPI-basil seed gum (ISP-BSG) complex used as emulsifier for stabilization of cold emulsion. ISP-BSG particles were prepared with different mass ratios of ISP: BSG, 1: 0, 1: 1, 2: 1 and 3: 1 and named 1S: 0B, 1S: 1B, 2S: 1B and 3S: 1B, respectively. These solid particles were used as Pickering for emulsion preparation. Cold Emulsion was prepared by adding calcium chloride. The oil leakage, oil leakage after thermal treatments, microscopic structure, textural properties and viscoelastic properties of emulsion gel were studied. Then, the best structures used as a fat substitute in cream (5, 10 and 15%).

Results & Discussion: Investigation of emulsion gel properties showed that coating the surface of emulsion droplets with solid nanoparticles formed a rigid shell that acted as a barrier against the deformation and transfer of materials from the interfacial surface. The use of ISP-BSG nanoparticles as picking particles caused more homogeneity and stiffness in emulsion gel structure. The rate of water loss in reduced fat cream was in the range of 1-2% by using the emulsion-gel system, which indicates the effectiveness of these systems in reducing dehydration in cream. The increasing replacement percentages led to increase water loss ($p <0.05$). However, emulsion type had no significant effect on water loss content ($p> 0.05$). According to the results, ISP-BSG nanoparticles impart high potential to stabilize emulsion with small oil droplets. Based on the results of the sensory test, it was found that the characteristics of the cream samples depended more on the replacement rate than the type of system used as an alternative. The presence of a fat replacement system maintained the desired quality in low-fat cream samples. Most of the samples scored higher than 3, which indicate the high acceptance of low-fat samples.

Keywords: Basil seed gum, Complex, Emulsion gel, Fat replacement, Soy protein isolate, Solid particles.

1. Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.
2. Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST) PO Box, 91895-157.356, Mashhad, Iran
(*Corresponding Author Email: s.najitabasi@rifst.ac.ir)